

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-294785

(43)Date of publication of application : 09.11.1993

(51)Int.Cl.

C30B 15/26
C30B 15/00
// H01L 21/208

(21)Application number : 04-124130

(71)Applicant : KOMATSU DENSHI KINZOKU KK

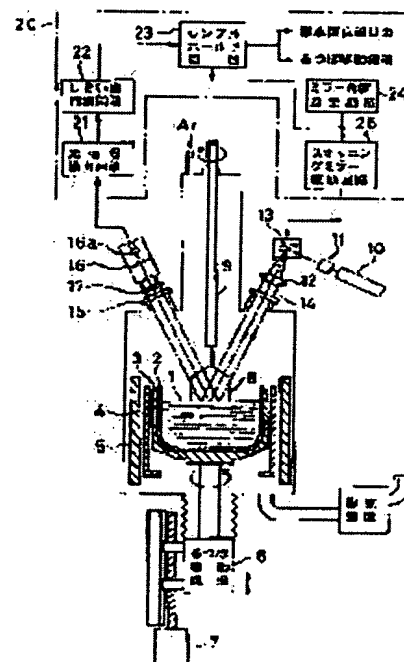
(22)Date of filing : 17.04.1992

(72)Inventor : HIRAISHI YOSHINOBU

(54) DEVICE FOR MEASURING AND CONTROLLING MOLTEN MATERIAL SURFACE POSITION OF SEMICONDUCTOR SINGLE CRYSTAL PRODUCING DEVICE**(57)Abstract:**

PURPOSE: To precisely and stably maintain the surface of a molten material at a specified position when a single crystal is pulled up in the semiconductor single crystal producing device by the CZ method.

CONSTITUTION: A laser beam emitted from a laser oscillator 10 is passed through a scanning mirror 13 and an f- θ lens 12 and made into the parallel beams to scan the plane perpendicular to the surface 1 of a molten material projected on the surface 1 at an incident angle of θ . Since a light receiving part 16 is provided with a horizontally long slit 16b on the front of a photosensor 16a, only the light reflected from the surface 1 at an angle θ of reflection is received by the light receiving part 16. The scanning position of the projected light is detected by a control part 20 when the reflected light is detected by the light receiving part 16, and a command signal is outputted to a crucible driving mechanism 6 so that the position coincides with the press scanning position. Consequently, the molten material surface position is precisely measured and controlled regardless of the fluctuation of the melt surface.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

30.09.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

2816627

[Date of registration]

21.08.1998

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

21.08.2001

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-294785

(43)公開日 平成5年(1993)11月9日

(51)Int.Cl.⁵

C 3 0 B 15/26

15/00

// H 0 1 L 21/208

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

Z

P 9277-4M

審査請求 未請求 請求項の数3(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-124130

(22)出願日 平成4年(1992)4月17日

(71)出願人 000184713

コマツ電子金属株式会社

神奈川県平塚市四之宮2612番地

(72)発明者 平石 吉信

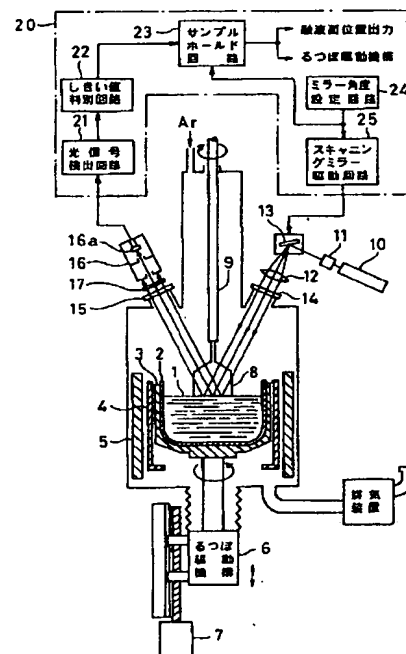
神奈川県平塚市四之宮2612 小松電子金属株式会社内

(54)【発明の名称】 半導体単結晶製造装置の融液面位置測定・制御装置

(57)【要約】

【目的】 CZ法による半導体単結晶製造装置において、単結晶引き上げ時に融液面を所定の位置に高精度で安定して維持することができるようにする。

【構成】 レーザ発振器10が発振するレーザ光を、スキャニングミラー13とf-θレンズ12とを介して、融液面1に対して垂直な面内を走査する平行光線とし、融液面1に入射角θで投射する。受光部16は、水平方向に長いスリット16bを光センサ16aの前面に備えているため、前記融液面1からの反射光のうち反射角θの反射光のみを取り入れる。制御部20は、前記受光部16が反射光を検出した時点に対応する投射光の走査位置を検出し、この位置があらかじめ設定した走査位置と一致するようにるつば駆動機構6に指令信号を出力する。これにより、融液面のゆらぎにかかわらず融液面位置を高精度に測定、制御することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 CZ法による半導体単結晶製造装置において、入射角 θ で融液面に対して垂直な面内を走査する平行光線を投射する手段と、前記融液面からの反射光のうち反射角 θ の反射光のみを受光する受光手段と、前記受光手段が反射光を受光した時点に対応する投射光の走査位置を検出する手段と、前記検出手段によって得られた投射光の走査位置が、あらかじめ設定した走査位置に一致するように、るつばを昇降させる手段とを備えたことを特徴とする半導体単結晶製造装置の融液面位置測定・制御装置。

【請求項2】 請求項1の受光手段が、1次元状に配列したフォトダイオードまたはCCD光検出素子であって、配列方向を水平とし、その前方に反射角 θ に対して $\pm 2^\circ$ 以下に限定した方向からの反射光のみを受光するように、水平方向に長いスリットを設けたことを特徴とする半導体単結晶製造装置の融液面位置測定・制御装置。

【請求項3】 請求項1の受光手段が、SiあるいはGaAsを用いた一つの受光面を持った素子であって、前記受光面の前方に凸レンズをその焦点距離に相当する距離を保って設置し、前記凸レンズの前または後あるいは凸レンズの前後に、反射角 θ に対して $\pm 2^\circ$ 以下に限定した方向からの反射光のみを受光するように、水平方向に長いスリットを設けたことを特徴とする半導体単結晶製造装置の融液面位置測定・制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はCZ法による半導体単結晶製造装置の融液面位置測定・制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体素子の基板となる単結晶の製造方法の一つとして、るつば内の原料融液から円柱状の単結晶を引き上げるCZ法が用いられている。CZ法においては、チャンバ内に設けた石英るつばに収容した原料をヒータによって加熱溶融し、シード軸に取り付けた種子結晶を前記融液に浸漬し、シード軸を回転しつつ上方に引き上げて単結晶を成長させる。

【0003】 近年、シリコン単結晶の重要な品質項目の一つとして、単結晶中の酸素濃度レベルが注目されている。これは、LSI製造工程において特に熱処理の温度、時間に関してLSI最終歩留りを高く保つために必要な最適酸素濃度が存在することが分かってきたことによる。そこで単結晶製造装置に対しては、広範囲にわたって精密な酸素濃度制御が可能であることが要求されている。一般的にシリコン単結晶中の酸素濃度は、石英るつばから溶融する酸化シリコンに起因するものが大部分である。従って、シリコン単結晶中の酸素濃度は、石英るつばと溶融シリコンとの反応速度およびるつば中の溶融シリコンの温度分布に依存しており、更にこの温度分布は、ヒータと溶融シリコンとの相対的な位置関係に

大きく依存する。具体的には、融液面とヒータとの位置関係が重要であり、ヒータ形状が変化しなければ融液面の位置を測定し、ヒータに対して融液面位置を一定に保つことによって酸素濃度の制御精度を向上させることができる。従来の単結晶製造装置では、融液面位置の正確な測定が極めて困難なため、融液面位置の高精度な制御は行われていない。

【0004】 上記融液面位置の測定に関して今までに試みられた方法の一つを図6に示す。同図において、レーザ発振器10から発振されたレーザ光は、チャンバの肩部に設けられた石英ガラス窓14を透過して融液面1に入射角 θ で投射され、反射角 θ で反射し、石英ガラス窓15および光学フィルタ17を透過して受光部16で反射光の位置が測定される。この状態において、融液面が1から1aに下降すると、反射したレーザ光はB1からB2に平行移動する。そのため、受光部16における反射光の結像位置が変化するが、この変化量は融液面の上下方向移動量に比例する。従って、レーザ発振器10と受光部16との位置関係が一定なら、受光部16の受光範囲内での融液面位置測定が可能である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来の方法を用いて融液面位置を測定する場合、融液面のゆらぎによりレーザ光の反射角が一定しないため、融液量の増減にかかわらず受光部における反射光の結像位置が変動する。そのため現実的なセンサ受光面積を考慮すると、レーザ光が受光部に入射する確率は極めて小さくなり、融液面の位置を正確に測定することは困難である。

【0006】 図7は融液面に発生する波の状態を三次元的に模式的に示したもので、Fは波が発生していないと仮定したときの融液面すなわち平面である。x軸、y軸は前記平面F上に仮想した軸で、z軸は前記x軸とy軸との交点に下した平面Fに対する垂線である。x軸およびy軸上の波形は、その軸上の融液面高さを模式的に表している。また、Bは融液面測定のために投射したレーザ光である。図7から分かるように、正しい融液面位置情報を持った反射光、つまりz軸に対して角度 θ で反射するレーザ光B1が発生するには極めて例外的な条件が必要である。すなわち、x軸方向、y軸方向の波がz軸と交わる一点で同時に最大振幅となるときに限られる。実際の融液面では、x軸方向、y軸方向で位相の相関はないため、反射点から適当に離れた受光部に投射されるレーザ光の輝点は波の振幅と波長とによって決まる半径Rの円内をランダムに移動する。実際には、融液を保持するるつばの振動やその回転、融液量等によって、特徴的なパターンの内部を移動すると考えられる。

【0007】 以上のような状況の中で、特徴的なパターンが受光部におさまるならば、融液面の位置測定値の時間平均値は実際の融液面位置を反映したものと考えられるが、実際には図8に示すように、反射光の大部分が受

光部外に投射される。同図において16aは光センサで、ここではCCDリニアイメージセンサを想定している。P1、P2、P3は反射したレーザ光が光センサ16aと同じ平面上に投射されるパターンを模式的に表したもので、各パターン中の×印はその重心を、・印はセンサが重心と判断した位置を示している。図8(a)では前記重心×と、重心と判断した位置・とが一致して正しく測定されるが、図8(b)および図8(c)の場合は測定誤差εが発生する。

【0008】融液面のゆらぎは、融液を貯留するつばの外部からの振動と、融液自体の対流とに起因するものである。前者は単結晶製造装置の設計およびその設置方法等により改善することが可能であるが、後者は不可能であり、特に近年つばが著しく大型化したことにより融液の対流が激しくなり、融液面位置測定をますます困難なものとしている。また、前記困難を避けるため、レーザ光を使用せずに融液面位置を測定する方法も提案されている(特開昭64-69591参照)が、これは融液面における炉内の特定部材の反射像を検出することと、融液面位置が変動した場合、前記特定部材から発して融液面で反射し、光学式カメラに到達するまでの光路長が変化することによって、光学式カメラでとらえた特定部材の映像の大きさが変化することを利用したものである。しかし、この方法にも下記のような欠点がある。すなわち、融液が高温で、しかも真空中にある場合には、光学式カメラを融液面から遠く離さなければならず、その距離はシリコン単結晶製造装置を例にとると、500mm~1000mmとなる。融液面位置の測定精度は±0.5mm以下であることが要求されるが、0.5mmの位置変化に対して反射角θを20°とした場合、光路長の変化が1.06mmとなるので、特定部材の映像の大きさの変化は、1.06/500~1.06/1000mmとなる。この大きさの変化を安定して検出するためには、少なくとも光学式カメラの視野に対して1/500~1/1000以上の分解能が必要である。しかしながら、現状において一般的に入手できる光学式テレビカメラでは前記分解能は限界値であり、安定的な測定を行うためには分解能が著しく不足することになる。更に、絶対値の測定を行う場合、炉内特定部材の映像の大きさは、映像を検出するための2値化レベルの値の設定方法や、炉の覗き窓の曇り、炉内壁の反射による融液面輝度の変化等によっても大きく影響を受け、前述の測定精度を絶対値で得ようとすることは不可能に近い。

【0009】本発明は、CZ法による半導体単結晶引き上げの際に従来の融液面位置測定方法を用いた場合、融液面のゆらぎにより融液面位置を高精度に測定しにくいという問題点に着目してなされたもので、融液面位置の測定・制御を高精度で安定して行うことができる半導体単結晶製造装置における融液面位置測定・制御装置を提

供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明に係る半導体単結晶製造装置の融液面位置測定・制御装置は、CZ法による半導体単結晶製造装置において、入射角θで融液面に対して垂直な面内を走査する平行光線を投射する手段と、前記融液面からの反射光のうち反射角θの反射光のみを受光する受光手段と、前記受光手段が反射光を受光した時点に対応する投射光の走査位置を検出する手段と、前記検出手段によって得られた投射光の走査位置が、あらかじめ設定した走査位置に一致するように、つばを昇降させる手段とを備えるものとし、このような構成において、前記受光手段が、1次元状に配列したホトダイオードまたはCCD光検出素子であって、配列方向を水平とし、その前方に反射角θに対して±2°以下に限定した方向からの反射光のみを受光するように、水平方向に長いスリットを設け、または、前記受光手段が、SiあるいはGaAsを用いた一つの受光面を持った素子であって、前記受光面の前方に凸レンズをその焦点距離に相当する距離を保って設置し、前記凸レンズの前または後あるいは凸レンズの前後に、反射角θに対して±2°以下に限定した方向からの反射光のみを受光するように、水平方向に長いスリットを設けた。

【0011】

【作用】上記構成によれば、CZ法による半導体単結晶製造装置において、融液面に対して垂直な面内を走査する平行光線を入射角θで融液面に投射し、融液面からの反射光のうち反射角θの反射光のみを受光することにしたので、この受光手段から得られる走査位置信号によって正しい融液面位置情報が与えられる。すなわち、従来の融液面位置測定方法では1本の固定されたレーザ光を融液面に投射していたが、本発明では融液面の斜め上方から融液面位置測定範囲に比例した幅で、融液面に対して垂直な面内を互いに平行に走査するレーザ光を投射することとした。レーザ光の入射角をθとすると、融液面が完全に水平ならば反射角もθとなるので、反射光を検出する際、反射角θの反射光のみについて融液面におけるレーザ光の投射直径に近い分解能で検出する。すなわち図2に示すように、光センサ16aにスリット16bを付設し、融液面1に入射角θでレーザ光を投射したとき、反射角θで反射するレーザ光のみを検出できるようにする。このとき、角度θに対する許容幅が大きい程測定精度は悪化するが、レーザ光を融液面1に対して垂直な面内を走査する平行光線とし、入射角θで融液面1に投射すると、ある融液面位置において限定されたレーザ光のみが光センサ16aに到達し、それを信号処理回路で検出する。図2において、レーザ光B1は融液面1において反射し、スリット16bを通過して光センサ16aに到達する。これ以外の走査位置のレーザ光たとえば

B2, B3はスリット16bに阻止され、光センサ16aに到達することができない。しかし、融液面位置が1から1aに下降すると、レーザ光B2が光センサに到達し、融液面位置が1から1bに上昇すると、レーザ光B3が光センサに到達する。このように、光センサがレーザ光を検出した瞬間の走査位置を知ることによって、融液面位置を直接測定することができる。このとき図2において、検出可能な融液面位置の上下変動幅すなわち融液面位置の検出幅をWとし、この検出幅に対応するレーザ光の走査幅をwとすると、前記Wとwとの関係は、 $w = W \cdot \sin 2\theta / \cos \theta$ で与えられる。

【0012】このように融液面位置の検出精度は、受光部の角度選択精度とレーザ光の走査位置検出精度とによるものであるため、スリット16bを水平方向に長くすることができる。これは、図7においてy軸方向の波が必ずしも最大振幅でなくても受光可能となることである。図8に示したように、CCDリニアイメージセンサをz軸に平行に配置した場合、受光部のy軸方向の広がり20は20μm以下であるが、本発明の方法によれば長軸方向をy軸方向に平行に配置することができる。この種のセンサは長軸が2.5mm程度のものが容易に得られるので、レーザ光のスポット径を0.5mmとすれば、受光確率が50倍程度に増大し、正確かつ安定した測定が可能となる。また、レンズを使用したり、複数のセンサを直列に配置することにより、更に受光範囲を拡大することができる。

【0013】本発明による融液面位置測定装置を用いると、融液面に発生する波による反射角のゆらぎに影響されことなく、レーザ光の入射角に等しい反射角のレーザ光だけを検出することができる。そして、そのときのレーザ光の走査位置が正しい融液面位置情報を与える。レーザ光の走査位置は、走査用ミラー、回転プリズム等の角度を直接あるいは走査開始点からの経過時間として測定することが可能である。つまりレーザ光を受光部で検出したときに発生する信号は、走査位置信号を取り込むためのトリガー信号として使われるため、従来のように反射角度にゆらぎを持ったレーザ光から直接融液面位置を測定する場合に比べて、高精度の測定ができる。その結果、本測定装置によつてるつば昇降機構を制御することにより、融液面位置を設定した位置に高精度に制御することが可能となる。このため、るつば内の融液の温度差を精度よく再現することができるので、酸素濃度の再現性も向上する。

【0014】

【実施例】以下に、本発明に係る半導体単結晶製造装置の融液面位置測定・制御装置の一実施例について、図面を参照して説明する。図1は、CZ法を用いるシリコン単結晶製造装置に融液面位置測定・制御装置を装着した状態を示す模式図である。同図において、1は融液面、2は融液を貯留する石英るつばで、石英るつば2の外側

には黒鉛るつば3が嵌着され、黒鉛るつば3の外周は黒鉛ヒータ4により加熱される。5は黒鉛繊維の断熱材である。前記黒鉛るつば3は、るつば駆動機構6およびモータ7により回転および上下動する。8は成長中の単結晶、9は種子結晶を保持して前記単結晶8に回転と上昇運動とを与えるシード軸である。炉内は減圧されたアルゴン雰囲気であり、真空ポンプにより通常は10mbar以下に保たれている。

【0015】10はレーザ発振器で、本実施例の場合は5mWのHe-Neレーザを使用した。11はコリメータレンズで、f-θレンズ12の仮想的な焦点位置からレーザ光が点光源で発生しているように動作する。このため、レーザ光は受光部に到達するまで焦点を結ばず、平行ビームのままである。本実施例ではビーム径をほぼ0.5mmとした。13はスキャニングミラーで、本実施例では振幅を±7.2°とし、50Hzの三角波で駆動した。f-θレンズ12は焦点距離120mmのものをういたので、スキャニングミラー13から120mm離して設置したf-θレンズ12上で走査幅は30mmとなり、最終的には直径0.5mmのレーザ光が50Hzで30mm幅に平行に走査された。この平行走査光は、石英ガラス製の窓14を透過し、鉛直線に対して20°の角度でチャンバ内に投射され、融液面1で反射した後、石英ガラス製の窓15を透過して受光部16に到達する。受光部16は、鉛直線に対して20°の角度を持つ反射光だけが光センサ16aに到達するように、光センサ16aの前方にスリットを備えている。光学フィルタ17は、He-Neレーザ光の波長帯域を通過させ、融液の輻射光をカットする。

【0016】図3は受光部16の構成例を示す斜視図である。図3(a)において、スリット16bはギャップ幅g=0.5mm、長さl=2.5mmであり、光センサ16aとして用いたCCDリニアイメージセンサはそのドライブ回路とともにプリント基板16cに取着されている。前記CCDリニアイメージセンサの受光領域は17μm×2.5mmであり、スリット16bと前記センサ16aとの距離Lを100mmとすれば、0.2°の精度でレーザ光を検出することが可能となる。図3(b)は受光部16の別の構成例を示したもので、16dは凸レンズであり、光センサ16aとしてシリコンフォトダイオードが用いられている。この場合、受光領域を限定するため、0.05mm×2mmのスリットを受光面直前に設置した。ピンホールと凸レンズとの距離をその焦点距離に等しくとれば、スリットを通過したビームで正しい位置情報を持ったビームだけがスリットに集光される。この場合も、ほぼ0.2°の精度でレーザビームの検出が可能である。

【0017】次に、制御部20内の信号処理回路すなわち光信号検出回路21およびしきい値判別回路22の機能について説明する。前記CCDリニアイメージセンサ

の出力は、図4(a)に示すようなビデオ信号波形Aとなり、受光した場合はApのような鋭いピークを生じ、ビーム検出パルス波形Cが発生する。そこで図4(b)に示すように、ピークレベルと平均レベルとの間で自動的にスレッシュホールドレベルを設定する回路を用い、ビデオ信号がスレッシュホールドレベルを超えたタイミングを検出して、制御部20内のサンプルホールド回路23に入力する。

【0018】一方、ミラー角度設定回路24によってスキヤニングミラー駆動回路25およびサンプルホールド回路23に出力されるミラー角度設定信号は、前述の通り50Hzの三角波である。しきい値判別回路22からスレッシュホールドレベルを超えたことを検出したパルス信号がサンプルホールド回路23に入力されると、その時点のミラー角度設定信号の電圧を記憶する。この電圧はスキヤニングミラー13の角度変位に対応している。すなわち、レーザ光の位置に対応しているため、これが融液面位置に対応した電圧となる。これについて図5で説明すると、Mはミラー角度設定信号で、Cはビーム検出パルスである。Dはビーム検出パルスCに同期してミラー角度設定信号Mをサンプリングおよびホールドした出力で、この電圧が融液面位置に対応する。この場合は、中心点を0voltとして±1voltの振幅を持っている。これは、融液面レベル変位量に換算すると±44mmとなる。前記サンプルホールド回路23は融液面位置に対応する電圧と、あらかじめ設定、記憶した設定電圧とを比較し、両者が等しくなるようにつば駆動機構6に指令信号を出力する。本実施例ではスキヤニングミラーを使用したか、ポリゴンミラーを回転させることによって同様の結果を得ることができる。また、信号処理をデジタル信号によって行うことも可能である。

【0019】本実施例の融液面位置測定・制御装置を用いた場合の測定精度を確認した。石英るつばは直径16インチのものを使用し、多結晶シリコン45kgを溶解した。るつば駆動装置により融液面を上下に移動させて確認したところ、0.2mmの分解能が得られることを確認した。この値はるつば回転の影響を受けず、測定範囲内のすべての位置において安定して得られた。また、融液面位置測定信号に基づいてるつば上昇速度を制御し、融液面位置を設定値に保持した結果、酸素濃度のバッチ間ばらつきは本装置を使用しない場合のほぼ1/3となった。更に、熱的条件の再現性が向上するため、単結晶の直径のばらつきが低減した。これに対して、図6に示した測定原理に基づく従来の測定方法では測定値の変動が大きいため、本発明のように融液面位置の僅かな上下変動を検出することは困難である。また、るつば回転の影響も大きく、10rpmで光軸を合わせた場合、±5rpm以上変化させると測定が不可能となった。

【0020】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、融

液面に対して垂直な面内を走査する平行光線を入射角 θ で投射し、前記融液面からの反射光のうち反射角 θ の反射光のみを受光することとし、受光手段による反射光検出時における投射光の走査位置を検出した上、前記走査位置があらかじめ設定した走査位置と一致するようにつばを昇降させることによって、融液面位置を制御する構成としたので、この融液面位置測定・制御装置を用いて融液面位置の測定、制御を行った場合、るつば回転等の影響を受けることなく、安定的に高精度の融液面位置制御を行うことができる。従って、引き上げ単結晶中の酸素濃度再現性が向上し、酸素濃度許容範囲の小さい単結晶を製造する場合においても、歩留りを著しく向上させることができる。また、派生的に、単結晶の直径のばらつきを低減させることができる。更に、本発明による融液面位置測定・制御装置は、市販されていて一般的に入手しやすい部品を用いているので、従来の単結晶製造装置に容易に組み込むことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】融液面位置測定・制御装置を組み込んだ半導体単結晶製造装置の模式図である。

【図2】融液面位置測定原理の説明図である。

【図3】融液面位置測定・制御装置の受光部の構成例を示す斜視図で、(a)はCCDリニアイメージセンサを用いた場合、(b)はフォトダイオードを用いた場合を示す。

【図4】融液面位置検出時の信号処理回路の説明図で、(a)は受光信号波形、(b)は信号処理回路の構成を示す。

【図5】スキヤニングミラー角度設定信号と出力電圧との関係の説明図である。

【図6】従来の融液面位置測定の一例を示す説明図である。

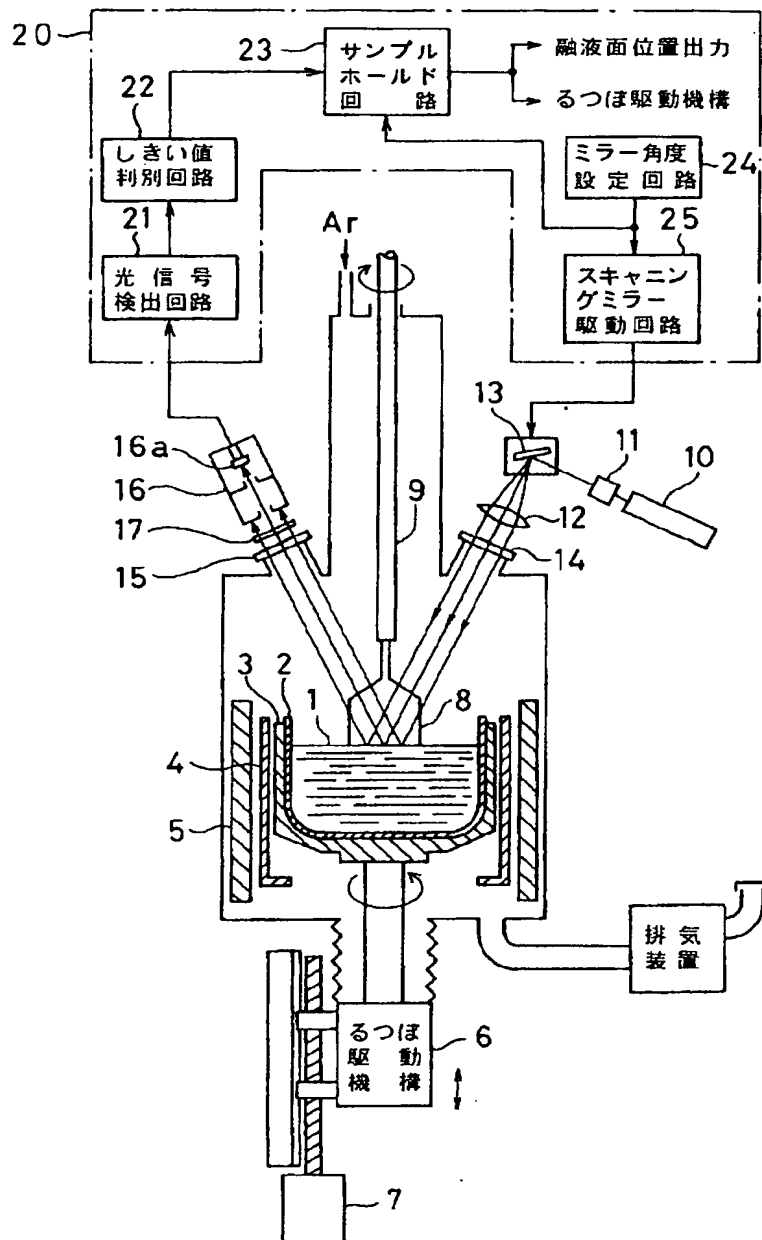
【図7】ゆらぎのある融液面での反射光の散乱を示す説明図である。

【図8】光センサと反射光の重心位置との関係を示す説明図で、(a)は反射光重心が光センサ内にある場合、(b)および(c)は反射光重心が光センサから外れた場合を示す。

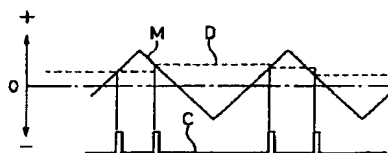
【符号の説明】

1, 1a, 1b	融液面	16d	凸レンズ
2	石英るつば	20	制御部
6	るつば駆動機構	21	光信号検出回路
8	単結晶		
10	レーザ発振器		
12	f- θ レンズ		
13	スキヤニングミラー		
16	受光部		
16a	光センサ		
16b	スリット		

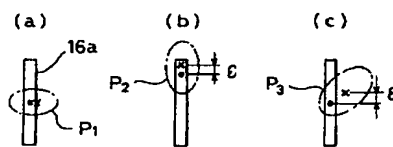
【図1】



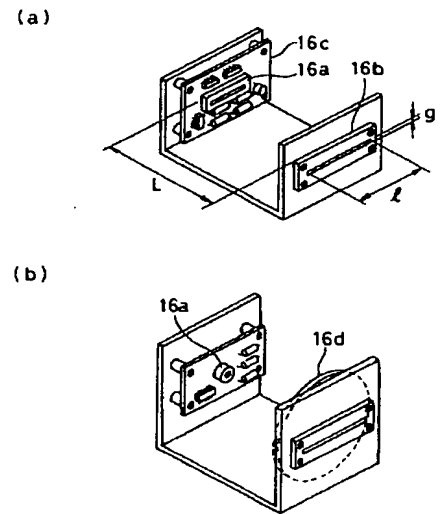
【図5】



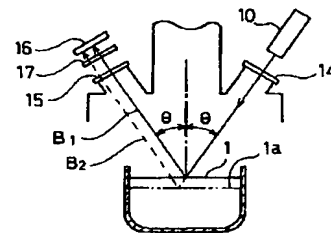
【図8】



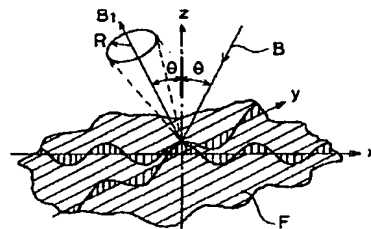
【図3】



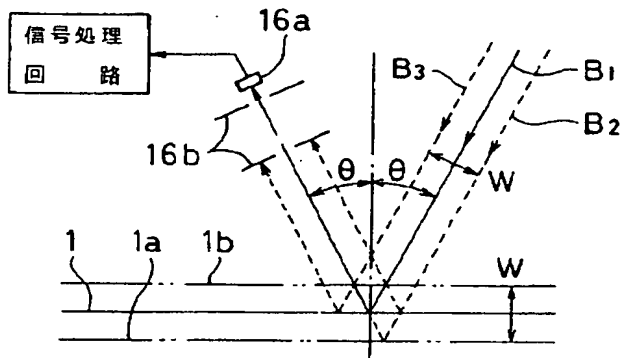
【図6】



【図7】



【図2】



【図4】

